Iranian Journal of Animal Science Research
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No.3, 2024, p. 367-383

The Effect of Adding Surfactants on Appearance Specification and Nutrients Content of Processed Corn Grain using Steam-Flaked Technique

Farzaneh Mohammadi [1], Mohsen Danesh Mesgaran [2*], Alireza Vakili [2], Abdolmansour Tahmasebi [2], Mohammad Reza Hossein Dokht [3]

1- Ph.D. Candidate, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
*Corresponding Author's Email: danesh@um.ac.ir

Received: 01-10-2023 Revised: 10-12-2023 Accepted: 23-12-2023 Available Online: 23-12-2023	**How to cite this article:** Mohammadi, F., Danesh Mesgaran, M., Vakili, A., Tahmasebi, A., & Hossein Dokht, M. R. (2024). The effect of adding surfactants on appearance specification and nutrients content of processed corn grain using steam-flaked technique. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *15*(4), 475-488. (in Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/ijasr.2023.84688.1175

Introduction: Corn grain is one of the main sources of energy in the dairy cow diets; about 70% of corn's weight is due to starch. The starch granule is the basic unit of starch in corn endosperm and is a part of the starch–protein matrix. Its digestibility is influenced by the starch-protein matrix, granule morphology and size, as well as the degree of granule crystallinity and extent of granule damage. Cereal starch digestibility in ruminants is improved by an average of 10% by the application of heat, moisture and pressure during the steam flaking process. Depending on the processing method, the digestion site shifts from the rumen to the intestine, which is a significant factor in determining the rate of nutrient absorption that influences animal performance. Surface-active, foam-forming properties can increase water penetration and, consequently, the digestibility of processed grain. The most significant physicochemical property of surfactants is their ability to reduce surface tension, which is known as their interface activity. Low surface tension in rumen fluid may expedite food absorption and digestion. The main aim of this study was to evaluate the effect of various surfactants on nutrients content and appearance specification of steam-flacked corn grain.

Materials and Methods: In the present study, a steamed-flaked (SF) method was applied to processed corn grains. During the steaming, grains did not treated with the surfactants (CON) or treated with 1% Tween 80 (TW80),1% sodium dodecyl sulfate (SD), 1% Alum (AL), and 1% extract of *Laurus nobilis* (LN) as surfactants. The ethanolic extract of *Laurus nobilis* (Ln) was provided by dissolving 100 g of dried and ground Ln in 500 mL of 96% v/v ethanol/water and shaking for 72 hours, then, the plant extract was prepared using evaporating method. Non-treated or treated corn grains were then steamed for approximately 35 minutes at 96 °C. Scanning electron microscopy (SEM) to achieve the best scanning quality of starch granule structure and surface in processed corn grain with the surfactants through steam-flaked were taken. The samples were assayed at 25 kV accelerating voltage and 2500x magnification. Physical properties (Giger-Reverdin, 2000) and chemical composition (AOAC, 2012) were then examined. The Robertson and Eastwood, (1998) method was used to calculate water holding capacity. According to Aghajani *et al*. (2012), the grain density was calculated as the ratio of the grain's mass to the sample's particle volume. Crude protein and carbohydrate fractionations were carried out (Higgs *et al*., 2015). Protein fractions reported as NH3 (A1), soluble protein (A2), insoluble true

http://doi.org/10.22067/ijasr.2023.84688.1175

protein (B1), fiber-bound protein (B2) and indigestible protein (C). Carbohydrates were divided into five fractions including A4 (water soluble carbohydrates or sugar), B1 (starch), B2 (soluble fiber), B3 (digestible fiber), and CC (ingestible fiber).

Results and Discussion: Scanning electron microscopy (SEM) analysis displayed that the processed corn grain using surfactants had larger surface starch granules than the SFC. All physical properties of the processed corn grain were significantly influenced by the chemically and physically procedures applied (P< 0.05). The highest bulk density was shown in LN (P< 0.05). Flaked corn grain treated with Tween 80 (TW80) had significantly (P< 0.05) higher volume compared with those of the others. The CP content of LN was higher than those of SD, TW80 and AL. Furthermore, the NDF content in SD was higher than that of LN and AL (P< 0.05). The total carbohydrates, non-fiber carbohydrates, digestible fiber and Indigestible fiber fractions of the processed corn grain were affected by the surfactant (P<0.05). The total carbohydrates and non-fiber carbohydrates fractions in LN were lower than that of the TW80, SD and AL. Digestible fiber and Indigestible fiber fractions were greater (P< 0.05) in AL than SD.

Conclusion: All processed grains showed a different starch granule structure and surface compared with that of CON. Our findings illustrated that treating corn grain with the surfactants, applied in the present study during the steaming, improved the physically and chemically properties of the grain. Various alterations in carbohydrate fractions were traced in processed corn grain with the surfactants through steam-flaked procedure. The grain treated with extract of *Laurus nobilis* showed a reduction in both non fiber carbohydrates and soluble fiber concentration.

Keywords: Bulk density, Carbohydrate, Steamed, Surfactant, Tween 80

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران

Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص. ۳۸۳-۳۶۷

اثر مواد فعال سطحی (سورفاکتانت‌ها) بر ویژگی‌های ظاهری و غلظت مواد مغذی دانه ذرت فرآوری شده با روش بخارپز- پولکی

فرزانه محمدی[۱]، محسن دانش مسگران[۲]*، سید علیرضا وکیلی[۲]، عبدالمنصور طهماسبی[۲]، محمدرضا حسین دخت[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

چکیده

در این آزمایش از روش بخارپز- پولکی (SF) برای فرآوری دانه ذرت با استفاده از بخار اشباع در دمای ۹۶ درجه سلسیوس به‌مدت ۵۰ دقیقه استفاده شد. در مرحله پخت از مواد فعال سطحی (سورفاکتانت‌ها) شیمیایی یا گیاهی استفاده شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: دانه‌های ذرت پولکی خام (CON)، دانه‌های ذرت پولکی عمل‌آوری شده با توئین۸۰ (TW80)، دانه‌های ذرت پولکی عمل‌آوری شده با آلوم (AL)، دانه‌های ذرت پولکی عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات (SD) و دانه‌های ذرت پولکی عمل‌آوری شده با عصاره برگ گیاه برگ بو (LN). با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، شکل ظاهری ریزذرات نشاسته در دانه‌های بخارپز و بخار پز- پولکی شده مورد بررسی قرار گرفت. علاوه‌براین، ویژگی‌های فیزیکی، غلظت مواد مغذی، بخش‌های پروتئین و کربوهیدرات نیز تعیین شد. ویژگی‌های فیزیکی شامل جرم توده‌ای، ظرفیت نگهداری آب، حجم و جرم حجمی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. جرم توده‌ای و ظرفیت نگهداری آب در LN به‌طور معنی‌داری بیشتر از AL و SD بود. دانه‌های فرآوری شده با توئین۸۰ به‌طور معنی‌داری حجم بیشتری در مقایسه با سایر دانه‌های پولکی داشتند. همچنین مقایسات مستقل LN در مقابل SD و AL نشان داد که استفاده از LN باعث کاهش معنی‌داری حجم در دانه‌های ذرت شد. غلظت چربی، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی دانه ذرت پولکی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر استفاده از سورفاکتانت‌ها قرار گرفت. غلظت پروتئین خام در LN به‌طور معنی‌داری بیشتر از AL و SD بود. مقایسه مستقل SD و AL نشان داد که استفاده از AL باعث افزایش معنی‌دار غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی دانه‌های عمل‌آوری می‌شود. غلظت بخش‌های مجموع کربوهیدارت‌ها، کربوهیدارت‌های غیرالیافی، الیاف قابل هضم و الیاف غیر قابل هضم تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. غلظت مجموع کربوهیدرات‌ها و کربوهیدرات‌های غیرالیافی در LN به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر دانه‌های عمل‌آوری شده بود. غلظت الیاف قابل هضم و غیر قابل هضم AL بیشتر از SD بود. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از سورفاکتانت‌ها در مرحله پخت با بخار در روش فرآوری بخارپز- پولکی موجب تغییر بهینه ویژگی‌های فیزیکی، شکل ظاهری ریزذرات نشاسته و غلظت بخش‌های کربوهیدرات دانه ذرت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بخارپز، توئین ۸۰، جرم توده‌ای، سورفاکتانت، کربوهیدرات

مقدمه

دانه‌های غلات، به‌لحاظ تراکم انرژی قابل استفاده در نشخوارکنندگان، همواره مورد توجه تولیدکنندگان شیر و گوشت بوده است. در بین دانه‌های غلات، دانه ذرت به‌لحاظ تراکم انرژی قابل متابولیسم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Wulff *et al*., 2020). مواد مغذی دانه ذرت با اتصالاتی از نوع فیزیکی یا شیمیایی با هم در ارتباط هستند و میزان دسترسی به این مواد مغذی است که تعیین‌کننده ارزش غذایی دانه در هر گونه حیوانی است (Wulff *et al*., 2020). بنابراین، ساختار نشاسته، به‌عنوان عامل درونی، و فرآوری دانه، به‌عنوان عامل بیرونی، از مهم‌ترین عواملی هستند که قابلیت استفاده از مواد مغذی و انرژی را در دانه ذرت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Li *et al*., 2014). به‌عنوان مثال، ماتریکس پروتئینی که در اطراف ریزذرات نشاسته دانه ذرت قرار دارد، فراتر از ویژگی خود نشاسته (اندازه ریزدانه‌ها و ترکیب نشاسته) بر میزان گوارش‌پذیری آن

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- استاد، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(*- نویسنده مسئول: (Email: danesh@um.ac.ir

http://doi.org/10.22067/ijasr.2023.84688.1175

اثرگذار است (Allen *et al*., 2008). لذا، به‌منظور استفاده بهینه از مواد مغذی دانه ذرت (به‌ویژه نشاسته) در حال حاضر از روش‌های فراوری شیمیایی و فیزیکی متفاوتی استفاده می‌شود (Schiff *et al*., 2023). یکی از مهم‌ترین روش‌های متداول، استفاده از بخار اشباع برای پخت دانه همراه با پولکی کردن دانه پخت شده است (Steam Flaked). این فرآوری باعث افزایش سطح ریزذرات نشاسته قابل دسترس برای اتصال و تجمع ریزجانداران شکمبه می‌شود، و همچنین نرخ و میزان گوارش‌پذیری نشاسته را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Xu *et al*., 2019). تغییر شکل ظاهری ریزذرات نشاسته از دیگر عوامل مهمی است که در نتیجه فرآوری بخارپز- پولکی اتفاق می‌افتد، و می‌تواند محل گوارش نشاسته را از شکمبه به روده تغییر داده و در نتیجه، افزایش هضم روده‌ای را منجر شود. این تغییر در محل هضم موجب افزایش جذب گلوکز از دیواره روده باریک می‌گردد، که این خود می‌تواند بر عملکرد تولیدی حیوان نیز اثر مثبت بگذارد (Safaei and Yang, 2017). امّا در فراوری دانه غلات با روش بخارپز- پولکی نیاز به مصرف انرژی به‌ویژه برای تولید بخار است (Kokić *et al*., 2022). لذا، کاهش زمان پخت دانه با بخار می‌تواند یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در بهره‌وری از انرژی در این روش فرآوری باشد (Song *et al*., 2017). بدین منظور، تلاش‌هایی برای افزایش نرخ جذب بخار و کاهش زمان پخت با استفاده از پخت تحت فشار (Xu *et al*., 2019) و یا استفاده از ترکیبات با ویژگی مواد فعال سطحی (سورفاکتانت‌ها) در مرحله پخت با بخار (Song *et al*., 2017) صورت گرفته است. سورفاکتانت‌ها مولکول‌های دوگانه با سر آب‌دوست و دم آب‌گریز هستند که در غلظت کم باعث کاهش کشش سطحی (تنشن) به‌مقدار چشم‌گیری می‌شوند (Hristov *et al*., 2007). گروه‌های آب‌گریز غالباً از یک زنجیره هیدروکربنی طولانی تشکیل شده‌اند و گروه آب‌دوست دارای یک گروه یونی و یا قطبی است (Anvari *et al*., 2015). سورفاکتانت‌ها به دو گروه سنتزی و زیستی طبقه‌بندی می‌شوند. سورفاکتانت‌های سنتزی بر اساس ساختار مولکولی به چهار دسته غیریونی، آنیونی، کاتیونی و آمفوتری تقسیم می‌شوند، که همگی آن‌ها منجر به کاهش سطحی و نیز بین سطحی می‌گردند. سورفاکتانت‌های زیستی عموماً متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند (0Ingle *et al*., 202). تاکنون مطالعات محدودی از نظر تأثیر سوفاکتانت‌ها در هنگام فرآوری بخارپز- پولکی دانه غلات انجام شده است (Xu *et al*., 2019). نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که سورفاکتانت‌ها در فرآوری دانه غلات باعث کاهش کشش سطحی آب و نفوذ بهتر آن به درون دانه و در نتیجه، یکنواختی پراکنش رطوبت و همچنین کاهش زمان پخت می‌شوند (Bell and Labuza, 2000). مهم‌ترین تأثیر سورفاکتانت‌ها در روش پخت رطوبتی، افزایش پتانسیل دانه پخت شده به‌لحاظ ظرفیت نگهداری آب است (Hristov *et al*., 2007). توئین۸۰ از جمله مواد فعال سطحی غیر یونی است که در فرآوری منابع خوراک دام استفاده می‌شود، و منجر به بهبود هضم آن‌ها نیز می‌شود (Goto *et al*., 2003). علاوه‌براین، سورفاکتانت‌های غیریونی (توئین۸۰) می‌توانند نفوذپذیری سلولی ریزجانداران شکمبه را تغییر داده و به تبع آن تولید آنزیم توسط آن‌ها را نیز تحریک نماید (Lee *et al*., 2003)، زیرا رشد باکتری‌ها و فعالیت شان در شکمبه به کشش سطحی مایع شکمبه ارتباط دارد (Tang *et al*., 2021 Liu *et al*., 2013;). هدف این آزمایش، استفاده از سورفاکتانت‌های شیمیایی و یا آلی قابل دسترس در مقایسه با یک سورفاکتانت سنتتیک (توئین ۸۰) به‌منظور افزایش بهره‌وری عمل‌آوری بخارپز- پولکی دانه ذرت (نوع معمولی) از طریق بررسی ویژگی‌های ظاهری ریزذرات نشاسته، ویژگی‌های فیزیکی، غلظت مواد مغذی، بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات‌های آن بود. اهمیت این بررسی تبیین ایجاد تغییرات فیزیکی در دانه با حفظ ظرفیت مواد مغذی، عدم تغییر در غلظت زیر مجموعه‌های پروتئین‌دار و همچنین افزایش غلظت زیرمجموعه‌های کربوهیدرات‌ها با پتانسیل هضم بهتر در دانه ذرت است.

مواد و روش‌ها

دانه ذرت و سورفاکتانت

در این آزمایش، از ذرت نوع معمولی با درصد ماده خشک معادل ۹۳۰ (گرم نسبت به ماده خشک) و پروتئین خام معادل ۸۸/۹، الیاف نامحلول در شوینده خنثی معادل ۱۰۱/۹، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی معادل ۴۳/۷ و نشاسته معادل ۷۰۲/۳ بر اساس گرم در کیلوگرم ماده خشک استفاده گردید. در این پژوهش، از سورفاکتانت متفاوت سنتتیک، شیمیایی و یا آلی استفاده شد. سورفاکتانت سنتتیک توئین۸۰ (Merck KGaA 64271 Darmstadt, TW80)، و سورفاکتانت‌های سدیم دودسیل سولفات (Merck KGaA 64271 Darmstadt, SD) و آلوم یا زاج سفید با فرمول شیمیایی (KAl $(SO_4)_2.12H_2O$, AL) به‌عنوان سورفاکتانت‌های غیر آلی و از عصاره برگ گیاه برگ بو (LN) به‌عنوان سورفاکتانت آلی استفاده شد. برای تهیه عصاره برگ گیاه برگ بو، به ۱۰۰ گرم برگ آسیاب شده مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی آب دو بار تقطیر و اتانول ۹۶ درصد (نسبت چهار به یک) اضافه شد. مخلوط حاصل به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق بر روی دستگاه همزن (GFL،Orbital shaker 3005) قرار داده شد. سپس با استفاده از کاغذ صافی (واتمن شماره ۱) بخش محلول از مخلوط تهیه شده، جدا گردید. محلول به‌دست آمده با استفاده از دستگاه چرخنده تبخیر (Rotary evaporators LABOROTA4000) تغلیظ شد و محصول عاری از الکل به‌عنوان عصاره در فراوری دانه ذرت مورد استفاده قرار گرفت.

روش عمل‌آوری دانه ذرت

پس از قرار گرفتن دانه‌های خام ذرت در مخزن پخت با بخار، مرحله پخت بدون استفاده از سورفاکتانت‌ها و یا با استفاده از آن‌ها انجام شد. در این مرحله، از سورفاکتانت‌ها به‌میزان یک درصد وزن دانه استفاده شد. دانه‌های ذرت بدون سورفاکتانت‌ها و یا با مواد فعال سطحی به‌مدت ۵۰ دقیقه مورد پخت با بخار قرار گرفتند (بخار اشباع و دمای ۹۶ درجه سانتی‌گراد، فشار یک اتمسفر). دانه‌ها پس از خروج از محفظه پخت با بخار، بلافاصله به دستگاه فلیکر منتقل و پولکی شدند (SF). تیمارهای آزمایشی شامل: دانه ذرت پولکی خام (CON)، دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با توئین ۸۰ (TW80)، دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با آلوم (AL)، دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات (SD) و دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با عصاره گیاه برگ بو (LN) بود.

بررسی ریزذرات نشاسته با میکروسکوپ الکترونی

تصاویر مربوط به ریزذرات نشاسته و ماتریکس پروتئینی دانه‌های ذرت فرآوری شده در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد و توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی (LEO 1450 VP, USA) تهیه شد. دانه‌ها در بهترین سطح خود با استفاده از نیتروژن مایع به دو قسمت تقسیم و با لایه‌ای از طلا- پالادیوم پوشش داده شدند. تصویربرداری در ولتاژ ۲۵ کیلو ولت و بزرگ‌نمایی ۲۵۰۰ انجام شد. در موارد ارزیابی با میکروسکوپ الکترونی برای رویت بهتر تغییرات استثناء هم پس از مرحله پخت و هم پس از پولکی شدن نمونه‌ها بررسی شدند.

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و ترکیب مواد مغذی

ویژگی‌های فیزیکی شامل جرم توده‌ای، ظرفیت نگهداری آب، جرم حجمی و حجم دانه خام و یا دانه‌های فراوری شده مورد بررسی قرار گرفت (Reynolds *et al.*, 2000). جرم توده‌ای[1] معادل با وزن نمونه در حجم است. به این منظور، یک استوانه مدرج ۱۰۰ میلی‌لیتری با قطر داخلی ۲/۵ سانتیمتر، تا ۵۰ میلی‌لیتر با نمونه پر و برای ۱۵ ثانیه تکان داده شد. سپس، مقدار نمونه تا پر شدن استوانه و رسیدن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر اضافه شد. وزن استوانه پرشده از نمونه ثبت و تفاضل آن از استوانه خالی معادل وزن نمونه در نظر گرفته شد (Giger-Reverdin, 2000).

برای تعیین ظرفیت نگهداری آب[2] از روش رابرتسون و ایستوود[3] (۱۹۹۸) استفاده شد. بدین منظور، ۲/۵ گرم نمونه به‌مدت ۲۴ ساعت در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر خیسانیده شد، سپس نمونه‌ها با کروزه مشبک با قطر دو صاف شدند و بعد از ۱۰ دقیقه وزن‌کشی شدند (Robertson and Eastwood, 1981).

برای اندازه‌گیری حجم و جرم حجمی[4] از پیکنومتر و تولوئن استفاده شد (Reynolds *et al.*, 2000). مقدار کافی از نمونه را درون پیکنومتر قرار داده و وزن‌کشی شد (به‌اندازه یک سوم حجم پیکنومتر). بقیه حجم پیکنومتر با تولوئن پر شد. هوای محبوس شده درون خلل و فرج دانه‌ها داخل پیکنومتر توسط پمپ خلأ خارج شد و پر کردن بخش خالی پیکنومتر با تولوئن انجام شد (Aghajani *et al.*, 2012).

معادله (۱)

$$V = \frac{Mtd}{\rho td} = \frac{(Mt - Mp) - (Mpts - Mps)}{\rho t} \quad \text{و}$$

$$\rho = \frac{Mps - Mp}{Vp}$$

که در آن، Mps: وزن نمونه و پیکنومتر، Mpts: وزن پیکنومتر نمونه و تولوئن، Mp: وزن پیکنومتر خشک خالی، Mt: وزن پیکنومتر پر شده با تولوئن و ρt: دانسیته است.

برای تعیین ماده خشک نمونه‌ها از آون تحت خلأ و دمای ۶۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت استفاده شد. برای تعیین غلظت مواد مغذی میزان پروتئین خام بر اساس انجمن رسمی شیمی‌دانان کشاورزی (۲۰۰۵)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی بر اساس روش ون سوست و همکاران (Van Soest *et al.*, 1991) و خاکستر بر اساس انجمن رسمی شیمی دانان کشاورزی (AOAC., 2012) انجام شد.

برای اندازه‌گیری نشاسته نمونه‌های دانه ذرت بر اساس روش رز و همکاران (Rose *et al.*, 1991) و با استفاده از پرکلریک اسید و معرف انترن استفاده شد. مقدار آمیلوز و آمیلوپکتین نمونه‌های دانه ذرت بر اساس روش هو و همکاران (Hu and Yang, 2010) تعیین شد.

در این پژوهش، بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات نمونه‌های آزمایشی بر اساس رویه سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل (CNCPS) ویرایش ۶/۵ انجام شد (Higgs *et al.*, 2015). مواد آزمایشی و حلال‌های مورد استفاده جهت تعیین بخش‌های محلول و غیر محلول پروتئین و کربوهیدرات‌ها بر اساس دستورالعمل‌های ارائه شده توسط هیگز و همکاران (Higgs *et al.*, 2015) تهیه شد. در این روش، پروتئین خام به پنج بخش تقسیم شد. آمونیاک معادل پروتئین (A_1)، پروتئین حقیقی محلول (A_2)، پروتئین حقیقی نامحلول (B_1)، پروتئین متصل به الیاف (B_2) و پروتئین غیر قابل هضم (C) تقسیم شدند. کربوهیدرات‌های موجود در نمونه‌های آزمایشی نیز به بخش‌های کربوهیدرات‌های کل (CHO)، کربوهیدرات‌های غیر

1- Bulk density
2- Water holding capacity
3- Robertson and Eastwood
4- Density

الیافی (NFC)، کربوهیدرات‌های محلول در آب (A_4)، نشاسته (B_1)، الیاف محلول (B_2)، الیاف قابل هضم (B_3) و الیاف غیر قابل هضم (CC)، بخش‌بندی شدند. چون نمونه‌های مورد آزمایش فاقد اسیدهای چرب و سایر اسیدهای آلی بودند، لذا در این بخش‌بندی لحاظ نشدند.

تجزیه آماری:

داده‌های به‌دست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی با رویه GLM و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ویرایش 9.4 مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مدل ریاضی طرح آماری استفاده شده عبارت بودند از: $Yij=\mu + T_i + e_{ij}$ بود. که در آن، Y_{ij}: متغیر وابسته، μ: اثر ثابت میانگین، T_i: اثر تیمار و e_{ij}: خطای آزمایش است. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال کمتر از پنج درصد به‌عنوان معنی‌دار گزارش شد. جهت تعیین اثرات مربوط به سورفاکتانت‌های گیاهی و شیمیایی مقایسات مستقل میانگین‌ها بین آن‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با بزرگ‌نمایی ۲۵۰۰ برای دانه ذرت بخارپز و بخارپز- پولکی شده در شکل ۱ نشان داده شده است. نسبت انواع ریز دانه‌های نشاسته برای دانه ذرت بخارپز و بخارپز- پولکی شده در جدول ۱ آمده است. ریزدانه‌های نشاسته در دانه ذرت خام از ویژگی‌های مورفولوژیکی (شکل و اندازه) منطبق بر تیپ عمده نشاسته دانه ذرت معمولی برخوردار بود (Butrim *et al*., 2009). ریزذرات نشاسته در دانه‌های بخارپز و یا بخارپز- پولکی شده کاملاً تحت تأثیر روش عمل‌آوری فیزیکی دانه قرار گرفت. تغییرات به‌وجود آمده به‌لحاظ روش انجام شده از یکدیگر متفاوت بود (Kokić *et al*., 2022). تصاویر نشان داده شده در شکل ۱ به‌وضوح بیانگر ایجاد حفره و زاویه در ریزذرات نشاسته پس از پولکی کردن آن‌ها است (Zinn *et al*., 2002). از سوی دیگر، این حفره‌ها و زوایای ایجاد شده کاملاً تحت تأثیر نوع سورفاکتانت قرار گرفت. بر اساس اطلاعات نویسندگان این مقاله، این تصاویر در ارتباط با استفاده از سورفاکتانت‌ها در فراوری پخت بخارپز- پولکی دانه ذرت برای اولین بار در منابع علمی منتشر می‌شود، که بدین لحاظ حائز اهمیت است. بر اساس تطبیق تصاویر نسبت به یکدیگر در روش بخارپز اندازه ریزذرات نشاسته به‌طور معمول بیشتر از ذرت بدون فراوری و از سوی دیگر، استفاده از سورفاکتانت‌ها همراه با پولکی کردن موجب درهم‌گسیختگی گرانول‌های نشاسته و همچنین شکل ظاهری آن‌ها گردید و تفاوت بین ریزذرات نشاسته پس از پولکی کردن با ریزذرات بخارپز بیانگر تخریب برخی از ریزذرات و همچنین رشته‌های تنیده شده در بین ریزذرات بود (Azizi and Rao., 2004). کولیک و همکاران (Kokić *et al*., 2022) نشان دادند که روش پولکی کردن پس از پخت حرارتی باعث درهم‌گسیختگی و تغییر شکل ظاهری و آرایش ریزذرات نشاسته در دانه ذرت می‌شود. هرچند که برخی از دانه‌ها همچنان از پایداری شکلی پس از عمل‌آوری برخوردار بودند. نتایج آزمایش حاضر بیانگر این واقعیت است که در اثر استفاده از سورفاکتانت‌ها حجم ریزدانه‌های نشاسته و فاصله بین آن‌ها نیز افزایش می‌یابد (جدول ۱). هرچند که نیاز به پژوهش‌های بیشتری در خصوص علت این پدیده مورد نیاز است.

ویژگی‌های فیزیکی دانه خام ذرت و دانه‌های فراوری شده با استفاده از سورفاکتانت‌های شیمیایی و یا آلی در روش بخارپز- پولکی در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. نتایج این آزمایش نشان داد که تمامی ویژگی‌های فیزیکی دانه‌های عمل‌آوری شده تحت تأثیر نوع سورفاکتانت به‌کار برده شده قرار گرفت (P<۰/۰۵). کمترین جرم توده‌ای در SD در مقایسه با سایر عمل‌آوری‌ها مشاهده شد. مقایسات مستقل نشان داد که دانه‌های ذرت عمل‌آوری شده با عصاره برگ گیاه برگ بو نسبت به سدیم دودسیل سولفات و آلوم جرم توده‌ای بیشتری داشت (به‌ترتیب افزاش ۲۴/۶۵ و ۸/۸۲ درصدی). بیشترین و کمترین ظرفیت نگهداری آب در دانه‌های بخارپز- پولکی بدون استفاده از سورفاکتانت و دانه‌های فراوری شده با آلوم مشاهده گردید (۱/۶۸ و ۱/۴۷ مترمکعب در تن). عمل‌آوری دانه ذرت با سدیم دودسیل سولفات و آلوم نسبت به عمل‌آوری با عصاره برگ گیاه برگ بو حجم را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (P<۰/۰۵). تیمار LN با ۹۳۲/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب، بیشترین جرم حجمی را در بین تیمارهای آزمایشی داشت. استفاده از توئین۸۰ نسبت به سدیم دودسیل سولفات و آلوم جرم حجمی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (کاهش به‌ترتیب ۱/۶۲ و ۱/۷۷ درصدی). استفاده از عصاره برگ گیاه برگ بو در مقایسه با سدیم دودسیل سولفات و آلوم جرم حجمی را به‌ترتیب ۸/۶۲ و ۸/۴۵ درصد افزایش داد. یکی از عوامل تأثیرگذار بر هضم نشاسته غلات، ویژگی فیزیکی نشاسته آن است (Kokić *et al*., 2022). به نظر می‌رسد که قابلیت هضم نشاسته ذرت تحت تأثیر اندازه، درجه کریستالیزه شدن، ترکیبات غیرنشاسته‌ای در بین ریزذرات نشاسته و اثر مشترک آن‌ها با ریزذرات نشاسته در دانه باشد (Gómez *et al*., 2016). بنابراین، نوع و میزان فرایند انجام شده به‌دلیل تغییر در ویژگی‌های فیزیکی نشاسته دانه می‌تواند باعث تغییر در قابلیت هضم آن شود (Luciano *et al*., 2020). استفاده از روش‌های بخارپز- حرارتی همراه با پولکی کردن به‌دلیل ایجاد گاز در بین ریزذرات نشاسته موجب افزایش هضم ریزذرات و همچنین حجم بافت نشاسته‌ای به‌دلیل تفاضل بین آن‌ها می‌شود (Schiff *et al*., 2023). استفاده از سورفاکتانت‌ها باعث افزایش نرخ جذب آب در دانه ذرت

فـراوری در روش بخــارپز می‌گــردد (Hristov et al., 2007). سورفاکتانت‌های شیمیایی تاکنون مورد توجه و استفاده قرار گرفته‌انـد (Lee et al., 2003). مـا در ایـن پـژوهش، ضـمن اسـتفاده از سورفاکتانت‌های شیمیایی از یک سورفاکتانت آلی نیز استفاده کـردیم. سورفاکتانت‌های آلی ضمن ویژگـی طبیعـت دوسـتی، کمتـرین زیـان ممکن در سیستم فراوری مکانیکی را نیز بـه همـراه خواهنـد داشـت (Hristov et al., 2007). نتایج این آزمـایش نشـان داد کـه عصـاره برگ گیاه برگ بـو و آلـوم بـه‌عنوان سـورفاکتانت می‌تواننـد بـه‌لحاظ تغییرات ویژه‌ای که در دانه ذرت ایجاد کرده‌اند، مورد توجه قرار گیرند. به‌طور معمول، ویژگی‌های فیزیکی دانه بخارپز- پولکی با اندازه‌گیری جـرم تـوده‌ای آن تعیـین می‌شـود (Domby et al., 2014). جـرم توده‌ای برای دانه ذرت پـولکی در دامنـه ۲۵۷ تـا ۴۱۲ گـرم در لیتـر گزارش شده است، که نتایج آزمایش حاضر، این نتایج را تأیید می‌کند (Trotta et al., 2022). در دسترس بـودن نشاسـته بـرای دانـه‌های ذرت بخارپز- پولکی کـه جـرم تـوده‌ای در آن‌هـا ۲۷۰ گـرم در لیتـر (۸۳/۷ درصد) در مقایسه با ذرت پولکی (۴۳/۳ درصد) تقریبا دو برابـر بیشـتر اسـت (Trotta et al., 2022). مناسب‌ترین جـرم تـوده‌ای پیشنهاد شده برای دانه ذرت بخار پز- پـولکی در دامنـه ۳۲۰ تـا ۳۶۰ گرم در لیتر (میانگین ۳۵۰ گرم در لیتر) است، کـه بهتـرین پاسـخ در تیمار SD در این آزمایش مشاهده شد (Samuelson et al., 2016). با افزایش جرم توده‌ای ذرت بخارپز- پولکی از ۲۵۷ بـه ۴۱۲ گـرم در لیتر بخش محلول دانه از ۴۴/۲ به ۲۵/۹ درصد کاهش یافت. تغییراتی که در بخش‌های محلول و دارای پتانسیل هضم‌پذیری دانـه بخـارپز- پولکی رخ می‌دهد، می‌تواند به‌دلیل افزایش ضـخامت دانـه و کـاهش سطح دانه باشد (Trotta et al., 2022). زین و همکـاران (Zinn et al., 2002)، جرم توده‌ای در ذرت‌هـای پـولکی شـده را ۳۰۰، ۳۶۰ و ۴۲۰ گرم در لیتر گزارش کردند، که ایـن آزمـایش نـتایج آن را تأییـد می‌کند. در آزمایشی تأثیر جرم توده‌ای مختلـف بـر عملکـرد گاوهـای گوشتی مورد آزمایش قرار گرفت. دامنه جرم توده‌ای ذرت‌های پولکی مابین ۳۱۰ تـا ۳۹۰ گـرم در لیتـر گـزارش شـد (Gutierrez et al., 2018). آن‌ها گزارش کردند که بـا افـزایش جـرم تـوده‌ای هیـدرولیز آنزیمی نشاسته و مقـدار انـرژی خـام ذرت کـاهش یافـت. رحیمـی و همکاران (Rahimi et al., 2020)، جرم توده‌ای دانـه ذرت بخـارپز- پولکی را ۴۰۶±۱۱/۵ گرم در لیتر گزارش کردند. آن‌ها نشان دادند که ذرت‌های با جرم توده‌ای پایین تر (پهن تر) به‌طور معنـی‌داری ناپدیـد شدن نشاسته را در شرایط درون کیسه‌ای افزایش می‌دهند.

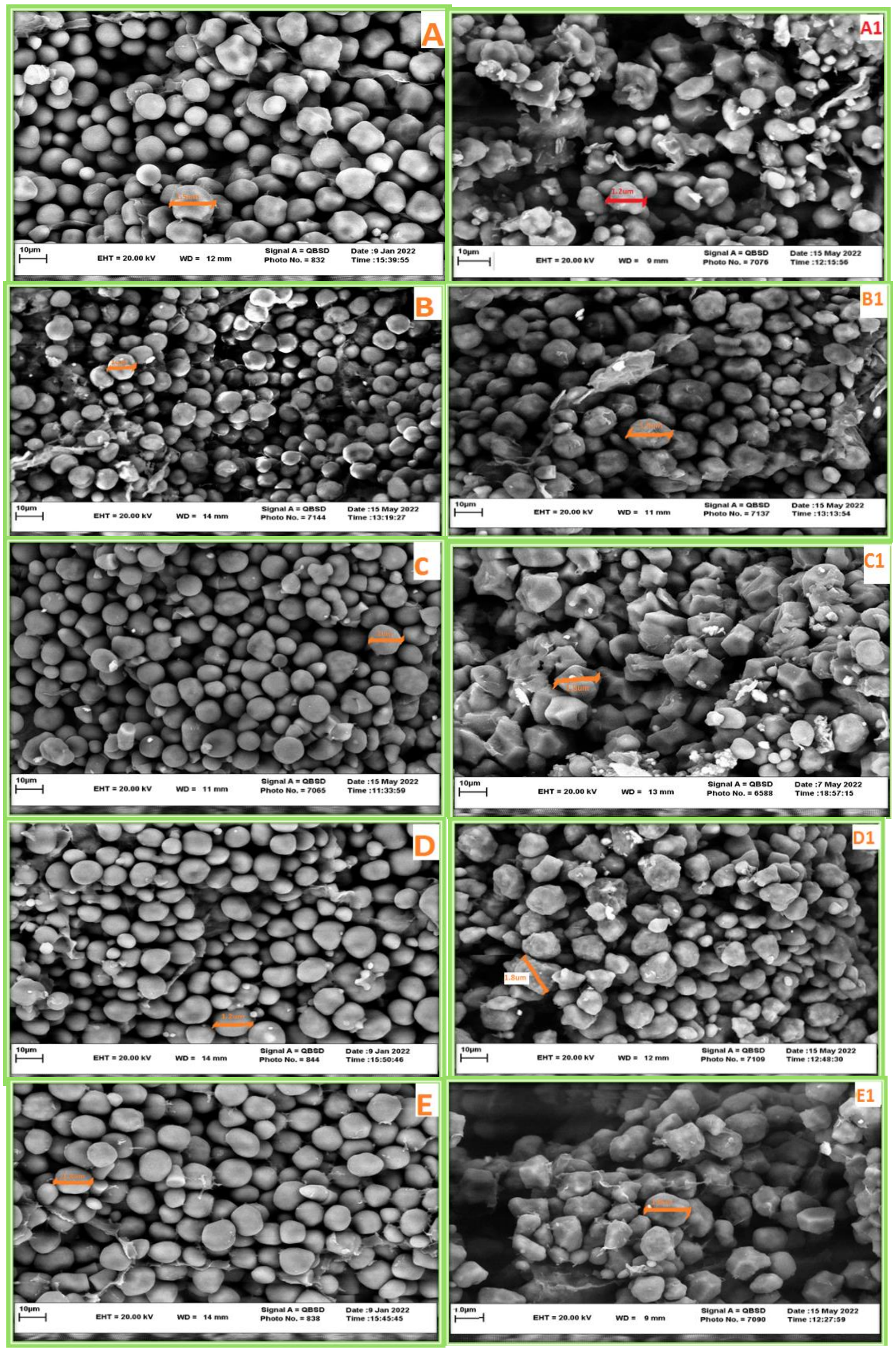
جدول ۱- تأثیر مرحله بخارپز و یا بخارپز- پولکی بر درصد انواع ریزدانه‌های نشاسته دانه ذرت فرآوری شده با انواع مواد فعال سطحی (سورفاکتانت‌ها)

Table 1- The effect of steamed and/or steamed-flaked on percentage of starch granule types of processed corn grain used various surfactants

تیمارهای آزمایشی* Experimental treatments	انواع گرانول نشاسته ذرت Type of corn starch granule		
	ریزذرات نشاسته نوع A A- starch granules (> 15 µm)	ریزذرات نشاسته نوع B B- starch granules (5-15 µm)	ریزذرات نشاسته نوع C C- starch granules (< 5 µm)
CON	8.9	90.7	0.4
LN	9.0	91.5	0.5
TW80	8.5	91.1	0.4
SD	9.1	90.6	0.3
AL	8.8	90.9	0.3
Steamed CON	9.3	90.4	0.3
Steamed LN	8.7	90.6	0.7
Steamed TW80	8.7	90.9	0.4
Steamed SD	8.9	90.7	0.4
Steamed AL	8.6	91.0	0.4

*تیمارهای آزمایشی: CON: دانه ذرت پولکی شده خام،LN: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با عصاره برگ بو TW80: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با توئین ۸۰، SD: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات، AL: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با آلوم، Steamed CON: دانه ذرت پخارپز شده، Steamed LN: دانه ذرت بخارپز شده عمل‌آوری شده با عصاره برگ گیاه برگ بو، Steamed TW80: دانه ذرت بخارپز شده عمل‌آوری شده با توئین۸۰، Steamed SD: دانه ذرت بخارپز شده عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات، Steamed AL: دانه ذرت بخارپز شده عمل‌آوری شده با آلوم.

Experimental treatments were: CON: Steam-flaking of corn grain, LN: Steam-flaking of corn grain treated with extract of *Laurus nobilis*, TW80: Steam-flaking of corn grain treated with Tween80, SD: steam flaking of corn grain treated with sodium dodecyl sulfate, AL: steam flaking of corn grain treated with Alum, Steamed CON: Steamed corn grain, Steamed LN: Steamed corn grain treated with extract of *Laurus nobilis* Steamed TW80: Steamed corn grain treated with Tween 80, Steamed SD: Steamed corn grain treated with sodium dodecyl sulfate, Steamed AL: Steamed corn grain treated with Alum



شکل ۱- تأثیر مرحله بخارپز و یا بخارپز- پولکی بر ویژگی‌های ظاهری ریزذرات نشاسته دانه ذرت فرآوری شده با انواع مواد فعال سطحی (سورفاکتانت‌ها)

Figure 1- The effect of steamed and/or steamed- flaked on starch granule appearance (SEM images- 5000x) of processed corn grain used various surfactants.

*تیمارهای آزمایشی) A: دانه ذرت پولکی شده خام، B: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با عصاره برگ بو C: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با توئین ۸۰، D: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات، E: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با آلوم، A1: دانه ذرت پخارپز شده، B1: دانه ذرت بخارپز شده عمل‌آوری شده با عصاره برگ گیاه برگ بو، C1: دانه ذرت بخارپز شده عمل‌آوری شده با توئین۸۰، D1: دانه ذرت بخارپز شده عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات، E1: دانه ذرت بخارپز شده عمل‌آوری شده با آلوم..

Experimental treatments were) A: Steam-flaking of corn grain, B: Steam-flaking of corn grain treated with extract of *Laurus nobilis,* C: Steam-flaking of corn grain treated with Tween80, D: steam flaking of corn grain treated with sodium dodecyl sulfate, E: steam flaking of corn grain treated with Alum, A1: Steamed corn grain, B1: Steamed corn grain treated with extract of *Laurus nobilis* C1: Steamed corn grain treated with Tween 80, D1: Steamed corn grain treated with sodium dodecyl sulfate, E1: Steamed corn grain treated with Alum

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی دانه ذرت عمل‌آوری شده با انواع مواد فعال سطحی همراه با فرآوری بخارپز- پولکی

Table2- The effect of various surfactants of steamed-flacked corn grain on physically properties

خصوصیات فیزیکی Physical properties	تیمارهای آزمایشی* Experimental treatments					میانگین خطای استاندارد SEM	سطح معنی‌داری P-value			
							تیمار Treatment	مقایسات مستقل Contrasts		
	CON	LN	TW80	SD	AL			الف A	ب B	ج C
جرم توده‌ای (گرم به‌ازای لیتر) Bulk density (g/L)	403.86^{a}	408.76^{a}	372.53^{b}	327.92^{c}	375.61^{b}	5.207	0<0001	0.7749	0<0001	0<0001
ظرفیت نگهداری آب (مترمکعب در تن) Water holding capacity (m^3/ton)	1.68^{a}	1.66^{a}	1.63^{ab}	1.58^{ab}	1.47^{b}	0.033	0.0111	0.1688	0.0473	0.0105
حجم (مترمکعب در تن) Volume(m^3/ton)	1.11^{c}	1.07^{d}	1.18^{a}	1.17^{ab}	1.16^{b}	0.042	0<0001	0<0001	0.8203	0<0001
جرم حجمی (کیلوگرم در مترمکعب) Density (kg/m^3)	898.6^{b}	932.05^{a}	844.17^{d}	858.07^{c}	859.37^{c}	3.016	0<0001	0<0001	0.7698	0<0001

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (P<0/05)

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

*تیمارهای آزمایشی شامل: CON: دانه ذرت پولکی شده خام، LN: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با عصاره برگ بو، TW80: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با توئین، SD: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات، AL: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با آلوم

Experimental treatments were: CON: Steam-flaking of corn grain, LN: Steam-flaking of corn grain treated with extract of *Laurus nobilis*, TW80: Steam-flaking of corn grain treated with Tween80, SD: steam flaking of corn grain treated with sodium dodecyl sulfate, AL: steam flaking of corn grain treated with Alum.

مقایسات مستقل: الف: توئین ۸۰ در مقابل دیگر فعال‌کننده‌های سطحی ب: آلوم در مقابل سدیم دودسیل سولفات ج: عصاره برگ بو در مقابل آلوم و سدیم دودسیل سولفات

Contrasts: A: Tween 80 vs other surfactants, B: Alum vs sodium dodecyl sulfate, C: Extract of *Laurus nobilis* vs sodium dodecyl sulfate

داده‌های مربوط به غلظت مواد مغذی دانه‌های ذرت عمل‌آوری شده با سورفاکتانت‌ها در روش بخارپز- پولکی در جدول ۲ گزارش شده است. نتایج این آزمایش نشان داد که غلظت پروتئین خام، چربی خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر سورفاکتانت‌ها استفاده شده قرار گرفت (P<۰/۰۵). استفاده از عصاره برگ گیاه برگ بو موجب افزایش غلظت پروتئین خام دانه ذرت عمل‌آوری شده گردید. مقایسه مستقل بین عصاره برگ گیاه برگ بو با آلوم و سدیم دودسیل سولفات تفاوت معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۱). مقایسه مستقل بین آلوم و سدیم دودسیل سولفات نشان داد که استفاده از سدیم دودسیل سولفات باعث کاهش غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی در دانه ذرت فرآوری شده گردید (P<۰/۰۵). غلظت چربی خام در دانه‌های ذرت عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات (۳۶/۵۹ گرم در کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری کمتر از ذرت‌های عمل‌آوری شده با آلوم (۳۹/۳۵ گرم در کیلوگرم) بود (P>۰/۰۵). عمل‌آوری با عصاره برگ گیاه برگ بو در مقایسه با آلوم غلظت NDF را ۲/۱۶ درصد کاهش داد (P>۰/۰۵). همچنین استفاده از سدیم دودسیل سولفات به‌عنوان یک سورفاکتانت باعث کاهش غلظت چربی خام در مقایسه با آلوم در این پژوهش شد. هدف این آزمایش، استفاده از سورفاکتانت‌های با پتانسیل متفاوت به‌منظور بررسی تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و غلظت مواد مغذی دانه‌های فراوری شده بود. تاکنون پژوهش‌های متفاوتی برای براورد ویژگی‌های فیزیکی دانه ذرت عمل‌آوری شده در روش بخارپز- پولکی انجام شده است (Ahn *et al*., 2019). امّا بر اساس دانسته‌های نویسندگان این مقاله برای اولین بار است که از آلوم و عصاره برگ گیاه برگ بو به‌عنوان سورفاکتانت در روش بخارپز- پولکی دانه ذرت استفاده شده است. به نظر می‌رسد که تأثیر عصاره برگ گیاه برگ بو بر پروتئین خام، ناشی از وجود ترکیبات نیتروژنه همراه با عصاره این گیاه است که در فراوری دانه ذرت استفاده شده، باشد (Stefanova *et al*., 2020). از سوی دیگر، استفاده از سدیم دودسیل سولفات و تأثیر آن بر غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی و چربی خام نیز می‌تواند ناشی از پتانسیل شویندگی این سورفاکتانت باشد (Crison *et al*., 1997). در آزمایش تروتا و همکاران (Trotta *et al*., 2022)، غلظت مواد مغذی دانه‌های ذرت پولکی با جرم‌های توده‌ای ۳۰۹ تا ۳۸۶ گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. دامنه غلظت مواد مغذی عبارت بودند از: پروتئین خام ۷/۹ تا ۸/۳ درصد، NDF ۶/۷ تا ۸/۲ درصد، ADF ۳/۳ تا ۴/۶ و نشاسته ۷۸/۸ تا ۸۰ درصد ماده خشک. آزمایش حاضر، نتایج گزارش شده توسط این نویسندگان تأیید نمی‌نماید، زیرا که در این آزمایش علاوه‌بر فرآوری فیزیکی، عمل‌آوری شیمیایی با فعال‌کننده‌های سطحی نیز انجام شد. در مطالعه‌ای غلظت مواد مغذی انواع ذرت پولکی با درصدهای مختلف ژلاتیناسیون نشاسته اندازه‌گیری شد. دامنه غلظت پروتئین خام ۸۸ تا ۸۲، چربی خام ۴۹ تا ۲۹، خاکستر ۸ تا ۱۴ و نشاسته ۷۰۴ تا ۷۵۸ گرم در کیلوگرم گزارش شد. نتایج آزمایش حاضر، نتایج غلظت‌های چربی خام، خاکستر و نشاسته را تأیید می‌کند (Kang *et al*., 2021). آن‌ها گزارش کردند که عواملی مانند دما، رطوبت و فشار، که به‌صورت همزمان اتفاق می‌افتد، می‌تواند منجر به تغییر در ساختار و غلظت مواد مغذی دانه شود. در نتایج پژوهش‌های قبل نشان داده شد که سورفاکتانت‌ها پتانسیل جذب آب توسط دانه در زمان بخارپز شدن را افزایش می‌دهند (Azizi and Rao, 2004). به نظر می‌رسد این افزایش در نرخ جذب آب همراه با تخریب رشته‌های پروتئین در ماتریکس پروتئین- نشاسته و پروتئین- چربی در داخل دانه و در نتیجه، تغییر در غلظت مواد مغذی آن‌ها باشد (Sindt *et al*., 2006). در آزمایش حاضر، به‌منظور بررسی تأثیر سورفاکتانت‌ها در فراوری بخارپز- پولکی دانه ذرت از روش بخش‌بندی پروتئین استفاده شد (Higgs *et al*., 2015). در این روش، پروتئین به زیربخش‌های آمونیاک، پروتئین حقیقی محلول و همچنین پروتئین حقیقی نامحلول همراه با پروتئین متصل شده به الیاف و پروتئین غیر قابل هضم تقسیم می‌گردد. به‌منظور بیان اطمینان در روش‌های عمل‌آوری دانه‌ها، در حال حاضر، از بخش‌بندی پروتئین به‌عنوان شاخص بیانگر ماهیت پروتئین استفاده می‌شود (Higgs *et al*., 2015). نتایج مربوط به بخش‌های پروتئین‌دار دانه‌های فراوری شده بدون استفاده از سورفاکتانت و یا با استفاده از سورفاکتانت در عمل‌آوری بخارپز- پولکی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج حاضر بیانگر مهم‌ترین ویژگی این بخش‌بندی از نقطه نظر بخش‌های پروتئین حقیقی و پروتئین قابل هضم به‌لحاظ تأثیر سورفاکتانت‌ها و روش عمل‌آوری فیزیکی است. نتایج نشان داد که استفاده از سورفاکتانت‌های آزمایش حاضر موجب تغییر در ماهیت پروتئین خام دانه‌های عمل‌آوری شده در روش بخارپز- پولکی نمی‌شود. این می‌تواند بیانگر اطمینان از عدم تأثیر منفی سورفاکتانت‌ها بر دانه‌های ذرت عمل‌آوری شده باشد (Hristov *et al*., 2007).

جدول۳- ترکیب شیمیایی دانه ذرت عمل‌آوری شده با انواع مواد فعال سطحی همراه با فرآوری بخارپز- پولکی

Table3- The effect of various surfactants of steamed-flacked corn grain on chemical composition

	تیمارهای آزمایشی* Experimental treatments					میانگین خطای استاندارد	سطح معنی‌داری P-value			
								مقایسات مستقل Contrasts		
غلظت مواد مغذی(گرم به کیلوگرم) Chemical composition (g/kg)	CON	LN	TW80	SD	AL	SEM	تیمار Treatment	الف A	ب B	ج C
چربی Eater extract	38.29^{a}	38.50^{a}	37.72^{ab}	36.59^{b}	39.35^{a}	0.3631	0.0038	0.3305	0.0003	0.2593
خاکستر Ash	12.11	11.89	12	12.10	11.66	0.5329	0.9724	0.8851	0.5770	0.9942
پروتئین خام Crude protein	89.99^{b}	101.32^{a}	90.23^{b}	90.23^{b}	86.49^{b}	1.497	0.0004	0.1865	0.1081	0<0.0001
نشاسته Starch	704.43	702.66	701.8	703.88	703.95	1.68	0.7946	0.4018	0.9760	0.5574
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral Detergent Fiber (NDF)	100.48^{ab}	99.55^{b}	100.27^{ab}	98.73^{b}	101.75^{a}	0.45	0.0088	0.6255	0.0008	0.2378
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid Detergent Fiber (ADF)	43.02	40.19	42.13	41.21	42.26	1.7518	0.1547	0.3180	0.3457	0.1238
قندهای محلول Water soluble carbohydrates	45.82	42.11	43.85	45.09	45.26	1.763	0.6062	0.8853	0.9490	0.1865
(درصد) آمیلوز Amylose (%)	27.5	27.33	27.11	26.88	27.42	0.1922	0.6232	0.7768	0.2385	0.6442
(درصد) آمیلوپکتین Amylopectin (%)	72.50	72.67	72.89	73.12	72.58	0.3089	0.6232	0.7768	0.2385	0.6442

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند ($P<0/05$)

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

*تیمارهای آزمایشی شامل: CON) دانه ذرت پولکی شده خام، LN: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با عصاره برگ بو، TW80: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با توئین، SD: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات، AL: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با آلوم

Experimental treatments were: CON) Steam-flaking of corn grain, LN: Steam-flaking of corn grain treated with extract of *Laurus nobilis*, TW80: Steam-flaking of corn grain treated with Tween80, SD: steam flaking of corn grain treated with sodium dodecyl sulfate, AL: steam flaking of corn grain treated with Alum

مقایسات مستقل: الف: توئین ۸۰ در مقابل دیگر فعال‌کننده‌های سطحی ب: آلوم در مقابل سدیم دودسیل سولفات ج: عصاره برگ بو در مقابل آلوم و سدیم دودسیل سولفات

Contrasts: A: Tween 80 vs other surfactants, B: Alum vs sodium dodecyl sulfate, C: Extract of *Laurus nobilis* vs sodium dodecyl sulfate

دانه‌های ذرت بر اساس ماهیت شیمیایی و مقاومت فیزیکی به شش گروه اصلی شامل: ذرت دندان اسبی، ذرت شیرین، ذرت غلاف‌دار، ذرت آردی، ذرت پاپ کورن و ذرت مومی تقسیم می‌شوند (Subaedah *et al.*, 2021) زین و همکاران (Zinn *et al.*, 2002) در یک تقسیم‌بندی ساده‌تر دانه‌های ذرت را به سه دسته معمولی، واکسی و غنی از آمیلوز تقسیم کردند. در ذرت‌های واکسی غلظت آمیلوز کمتر از ذرت‌های معمولی است (Atkin *et al.*, 1998). از سوی دیگر، در این ذرت‌ها ویژگی‌های فیزیکی کربوهیدرات‌ها پس از فراوری با بخار و حرارت کاملاً متفاوت از سایر انواع ذرت است. در آزمایش حاضر، ما از ذرت معمولی استفاده کردیم که این ذرت غنی از نشاسته (حدوداً ۷۰ درصد) و کاملاً مستعد تغییر در بخش‌های کربوهیدراته پس ازفراوری است. هیگز و همکاران (Higgs *et al.*, 2015) پیشنهاد دادند که می‌توان منابع خوراکی را بر اساس مدل‌های تامین نیاز حیوان به بخش‌های شامل مجموع کربوهیدرات‌ها، کربوهیدرات‌های غیر الیافی، الیاف غیر قابل و قابل هضم و همچنین نشاسته و قندهای محلول تقسیم کرد. بنابراین، برای شناخت بیشتر تأثیر سورفاکتانت‌ها در عمل‌آوری بخارپز- پولکی این بخش‌بندی کربوهیدرات در دانه‌های فراوری شده مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های به‌دست آمده در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بخش‌های کربوهیدراته دانه ذرت تحت تأثیر معنی‌دار نوع سورفاکتانت‌ها در روش بخارپز- پولکی قرار می‌گیرند (P<۰/۰۵). غلظت مجموع کربوهیدرات‌ها (۸۴۸/۲۹ گرم در کیلوگرم) و کربوهیدرات‌های غیر الیافی (۷۵۲/۲۴ گرم در کیلوگرم) در LN نسبت به سایر دانه‌های فراوری شده به‌طور معنی‌داری کمتر بود (P<۰/۰۵). مقایسات مستقل نشان داد که در عمل‌آوری دانه ذرت با عصاره برگ گیاه برگ بو در مقایسه با سدیم دودسیل سولفات و آلوم غلظت مجموع کربوهیدرات‌ها (به‌ترتیب ۱/۴۸ و ۲/۴۳ درصد) و کربوهیدرات‌های غیر الیافی (به‌ترتیب ۱/۷۶ و ۱/۵۹ درصد) کاهش یافت (P<۰/۰۵). دانه‌های مربوط به گروه AL با ۹۵/۷۵ گرم در کیلوگرم بیشترین غلظت الیاف قابل هضم را در بین تیمارهای آزمایشی داشت (P<۰/۰۵). عمل‌آوری با آلوم نسبت به عمل‌آوری با سدیم دودسیل سولفات غلظت الیاف قابل هضم را افزایش معنی‌دار داد (۵۲/۶۲ درصد، P<۰/۰۵). کمترین غلظت الیاف غیر قابل هضم با ۱/۹۹ گرم در کیلوگرم در SD مشاهده شد. نتایج مقایسات مستقل نشان داد که استفاده از آلوم در مقابل سدیم دودسیل سولفات افزایش معنی‌دار داشت (۱۳/۵۶ درصد، P>۰/۰۵). با توجه به این که غلظت‌های مجموع کربوهیدرات‌ها و کربوهیدرات‌های غیر الیافی از طریق محاسبات ریاضی به‌دست می‌آید (مراجعه به قسمت مواد و روش)، احتمالاً کاهش این بخش‌ها در LN به‌دلیل افزایش غلظت پروتئین خام در این تیمار است. با افزایش مدت زمان فرآیند بخارپز- پولکی، میزان قندهای محلول و الیاف غیر قابل هضم کاهش و غلظت بخش‌های الیاف محلول و کربوهیدرات‌های غیر الیافی نسبت به دانه خام افزایش یافت (Xin *et al.*, 2021). در آزمایش زین و همکاران (Xin *et al.*, 2020)، غلظت مجموع کربوهیدرات‌های ذرت خام را ۸۶۲/۱، کربوهیدرات‌های غیر الیافی ۷۲۸/۸، نشاسته ۶۹۸/۷، قندهای محلول ۱۳/۰۱، الیاف محلول ۲۴/۷۴، الیاف قابل هضم ۱۳۱/۹۸ و الیاف غیر قابل هضم ۲/۱۵ گرم در کیلوگرم گزارش شد و نتایج آزمایش حاضر، نتایج آن‌ها را تأیید نمی‌نماید، زیرا که این نویسندگان فراوری شیمیایی در دانه ذرت انجام ندادند. اسپینوزا و همکاران (Espinosa *et al.*, 2020) بیان کردند که پخت با بخار به همراه امواج مایکروویو منجر به کاهش بخش سریع تجزیه (قندهای محلول) ، افزایش بخش متوسط تجزیه (نشاسته و الیاف محلول) و کاهش بخش غیر قابل تجزیه کربوهیدرات‌ها می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در آزمایش حاضر، تأثیر سورفاکتانت‌ها در عمل‌آوری دانه ذرت با روش بخارپز- پولکی بر شکل ظاهری ریزذرات نشاسته، ویژگی‌های فیزیکی، ترکیب مواد مغذی و زیربخش‌های پروتئین و کربوهیدرات مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های این آزمایش نشان داد که استفاده از آلوم و عصاره برگ گیاه برگ بو به‌لحاظ تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و ترکیب مواد مغذی دانه ذرت پخت شده با روش بخارپز- پولکی می‌تواند به‌عنوان ترکیب مطلوب به‌جای توئین ۸۰ استفاده شوند. عدم تغییر در زیربخش‌های پروتئین‌دار دانه ذرت فرآوری شده، بیانگر آن است که سورفاکتانت‌های مورد استفاده ضمن تغییر در شکل ظاهری ریزذرات نشاسته، تأثیر نامطلوب بر کیفیت پروتئین دانه ذرت عمل‌آوری شده ندارند. سورفاکتانت‌های مورد استفاده در این آزمایش موجب تغییر در زیربخش‌های کربوهیدرات دانه شدند. هرچند که تأثیر آن‌ها از نظر ویژگی‌های مولکول‌های کربوهیدرات نیاز به بررسی بیشتری دارد. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که شکل ظاهری دانه ذرت از نظر ریزذرات نشاسته به‌شدت تحت تأثیر سورفاکتانت‌های مورد استفاده در روش عمل‌آوری با بخار و پولکی کردن متعاقب آن قرار می‌گیرد. اگرچه که تأثیر غلظت‌های بیشتر سورفاکتانت‌های مورد استفاده و یا زمان پخت با بخار اشباع می‌تواند در پژوهش‌های آتی مد نظر قرار گیرد.

جدول ٤- بخش‌بندی پروتئین دانه ذرت عمل‌آوری شده با انواع مواد فعال سطحی همراه با فرآوری بخارپز- پولکی بر اساس سیستم CNCPS ویرایش ۶/۵

Table 4- The effect of various surfactants of steamed-flacked corn grain on protein fractionation (CNCPS- v 6.5)

بخش‌بندی پروتئین(درصدی از پروتئین خام) Protein fractions (% of CP	تیمارهای آزمایشی* Experimental treatments					میانگین خطای استاندارد SEM	سطح معنی‌داری P-value			
							تیمار Treatment	مقایسات مستقل Contrasts		
	CON	LN	TW80	SD	AL			الف A	ب B	ج C
آمونیاک (A1) Ammonia	704.43	702.66	701.80	703.88	703.95	1.68	0.795	0.402	0.976	0.557
پروتئین حقیقی محلول (A2) Soluble true protein	2.62	2.66	3.59	2.93	2.66	0.845	0.9127	0.3993	0.8269	0.8995
پروتئین حقیقی نامحلول (B1) Insoluble true protein	88.56	88.40	88.11	88.27	88.40	0.4668	0.9904	0.7426	0.8853	0.9336
پروتئین متصل شده به الیاف (B2) Fiber-bound protein	2.98	3.38	3.22	3.22	3.38	0.1905	0.5670	0.6372	0.5642	0.7383
پروتئین غیر قابل هضم (C Indigestible protein	5.84	5.55	5.06	5.57	5.55	0.2673	0.3964	0.1326	0.9437	0.9675

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (P<۰/۰۵)

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

*تیمارهای آزمایشی شامل: CON: دانه ذرت پولکی شده خام، LN: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با عصاره برگ بو، TW80: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با توئین، SD: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات، AL: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با آلوم

Experimental treatments were: CON: Steam-flaking of corn grain, LN: Steam-flaking of corn grain treated with extract of *Laurus nobilis*, TW80: Steam-flaking of corn grain treated with Tween80, SD: steam flaking of corn grain treated with sodium dodecyl sulfate, AL: steam flaking of corn grain treated with Alum

مقایسات مستقل: الف: توئین ۸۰ در مقابل دیگر فعال‌کننده‌های سطحی ب: آلوم در مقابل سدیم دودسیل سولفات ج: عصاره برگ بو در مقابل آلوم و سدیم دودسیل سولفات

Contrasts: A: Tween 80 vs other surfactants, B: Alum vs sodium dodecyl sulfate, C: Extract of *Laurus nobilis* vs sodium dodecyl sulfate

جدول۵- بخش‌بندی کربوهیدرات دانه ذرت عمل‌آوری شده با انواع مواد فعال سطحی همراه با فرآوری بخارپز- پولکی بر اساس سیستم CNCPS ویرایش ۶/۵

Table5- The effect of various surfactants of steamed-flacked corn grain on carbohydrate fractionation (CNCPS- v 6.5)

بخش‌بندی کربوهیدرات(گرم در کیلوگرم) Carbohydrate fractions(g/kg)	تیمارهای آزمایشی* Experimental treatments					میانگین خطای استاندارد SEM	سطح معنی‌داری P-value			
							تیمار Treatment	مقایسات مستقل Contrasts		
	CON	LN	TW80	SD	AL			الف A	ب B	ج C
نشاسته (B1) Starch	704.43	702.66	701.80	703.88	703.95	1.68	0.795	0.402	0.976	0.557
قندهای محلول (A4) Water soluble carbohydrates	45.82	42.11	43.85	45.09	45.26	1.763	0.6062	0.8853	0.9490	0.1865
مجموع کربوهیدرات Carbohydrates	859.59^{a}	848.29^{b}	860.05^{a}	861.07^{a}	869.49^{a}	1.92	0.0026	0.2406	0.6129	0.0002
کربوهیدرات‌های غیر الیافی Non fiber carbohydrates	762.92^{a}	752.24^{b}	763.28^{a}	765.77^{a}	764.47^{a}	1.91	0.0036	0.2491	0.6408	0.0003
الیاف محلول (B2) Soluble fiber	13.99	11.46	14.29	16.80	15.26	3.79	0.6945	0.9435	0.6852	0.1826
الیاف قابل هضم (B3) Digestible fiber	94.44^{ab}	93.87^{ab}	94.52^{ab}	93.30^{b}	95.75^{a}	0.44	0.0299	0.6926	0.003	0.2529
الیاف غیر قابل هضم (CC) Indigestible fiber	2.23^{a}	2.18^{ab}	2.25^{a}	1.99^{b}	2.26^{a}	0.049	0.0161	0.0866	0.0031	0.4199

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (P<۰/۰۵)

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

*تیمارهای آزمایشی شامل: CON: دانه ذرت پولکی شده خام، LN: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با عصاره برگ بو، TW80: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با توئین، SD: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با سدیم دودسیل سولفات، AL: دانه ذرت پولکی عمل‌آوری شده با آلوم

Experimental treatments were: CON: Steam-flaking of corn grain, LN: Steam-flaking of corn grain treated with extract of *Laurus nobilis*, TW80: Steam-flaking of corn grain treated with Tween80, SD: steam flaking of corn grain treated with sodium dodecyl sulfate, AL: steam flaking of corn grain treated with Alum

مقایسات مستقل: الف: توئین ۸۰ در مقابل دیگر فعال‌کننده‌های سطحی ب: آلوم در مقابل سدیم دودسیل سولفات ج: عصاره برگ بو در مقابل آلوم و سدیم دودسیل سولفات

Contrasts: A: Tween 80 vs other surfactants, B: Alum vs sodium dodecyl sulfate, C: Extract of *Laurus nobilis* vs sodium dodecyl sulfate

References

1. Aghajani, N., Ansaripour, E., & Kashaninejad, M. (2012). Effect of moisture content on physical properties of barley seeds. Journal of Agricultural Science and Technology, 14(1), 161-172. https://jast.modares.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1000-8472&slc_lang=en&sid=23
2. Ahn, J. S., Shin, J. S., Kim, M. J., Son, G. H., Kwon, E. G., Shim, J. Y., Kim, I. Y., Cho, S. M., Cho, S. R., & Park, B. K. (2019). A study on comparative feeding value of corn flakes according to temperature and retention time in the pressurized steam chamber. *Journal of Animal Science and Technology*, *61*(3), 170. 10.5187/jast.2019.61.3.170
3. Allen, M. S., Longuski, R. A., & Ying, Y. (2008). Endosperm type of dry ground corn grain affects ruminal and total tract digestion of starch in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* , *91*(Suppl 1), 529.
4. Anvari, S., Hajfarajollah, H., Mokhtarani, B., & Noghabi, K. A. (2015). Physiochemical and thermodynamic characterization of lipopeptide biosurfactant secreted by *Bacillus tequilensis* HK01. *RSC Advances*, *5*(111), 91836-91845. 10.1039/C5RA17275F
5. AOAC, (2012). Official Methods of Analysis, 19th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 121-130. . 9780935584837, 0935584838
6. Atkin, N. J., Abeysekera, R. M., & Robards, A. W. (1998). The events leading to the formation of ghost remnants from the starch granule surface and the contribution of the granule surface to the gelatinization endotherm. *Carbohydrate Polymers*, *36*(2-3), 193-204. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00002-2
7. Azizi, M. H., & Rao, G. V. (2005). Effect of surfactant in pasting characteristics of various starches. *Food Hydrocolloids*, *19*(4), 739-743. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.08.003
8. Beauchemin, K. A., Yang, W. Z., & Rode, L. M. (2001). Effects of barley grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. *Journal of Animal Science*, *79*(7), 1925-1936. https://doi.org/10.2527/2001.7971925x
9. Bell, L. N., & Labuza, T. P. (2000). Pratical Aspects of Moisture Sorption Isotherm Measurement and Use, 2nd Edition.
9781891127182, 1891127187
10. Bengochea, W. L., Lardy, G. P., Bauer, M. L., & Soto-Navarro, S. A. (2005). Effect of grain processing degree on intake, digestion, ruminal fermentation, and performance characteristics of steers fed medium-concentrate growing diets. *Journal of Animal Science*, *83*(12), 2815-2825. https://doi.org/10.2527/2005.83122815x
11. Butrim, S. M., Litvyak, V. V., & Moskva, V. V. (2009). A study of physicochemical properties of extruded starches of varied biological origin. *Russian Journal of Applied Chemistry*, *82*, 1195-1199. 10.1134/S1070427209070076
12. Crison, J. R., Weiner, N. D., & Amidon, G. L. (1997). Dissolution media for *in vitro* testing of water-insoluble drugs: Effect of surfactant purity and electrolyte on *in vitro* dissolution of carbamazepine in aqueous solutions of sodium lauryl sulfate. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, *86*(3), 384-388. https://doi.org/10.1021/js960105t
13. Crocker, L. M., DePeters, E. J., Fadel, J. G., Perez-Monti, H., Taylor, S. J., Wyckoff, J. A., & Zinn, R. A. (1998). Influence of processed corn grain in diets of dairy cows on digestion of nutrients and milk composition. *Journal of Dairy Science*, *81*(9), 2394-2407. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)70131-6
14. Domby, E. M., Anele, U. Y., Gautam, K. K., Hergenreder, J. E., Pepper-Yowell, A. R., & Galyean, M. L. (2014). Interactive effects of bulk density of steam-flaked corn and concentration of Sweet Bran on feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract nutrient digestibility. *Journal of Animal Science*, *92*(3), 1133-1143. https://doi.org/10.2527/jas.2013-7038
15. Espinosa, M. E. R., Guevara-Oquendo, V. H., Newkirk, R. W., & Yu, P. (2020). Effect of heat processing methods on the protein molecular structure, physicochemical, and nutritional characteristics of faba bean (low and normal tannin) grown in western Canada. *Animal Feed Science and Technology*, *269*, 114681. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114681
16. Giger-Reverdin, S. (2000). Characterisation of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. *Animal Feed Science and Technology*, *86*(1-2), 53-69. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00159-0
17. Gómez, L. M., Posada, S. L., & Olivera, M. (2016). Starch in ruminant diets: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *29*(2), 77-90.
18. Goto, M., Bae, H., Lee, S. S., Yahaya, M. S., Karita, S., Wanjae, K., & Cheng, K. J. (2003). Effects of surfactant Tween 80 on forage degradability and microbial growth on the *in vitro* rumen mixed and pure cultures. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *16*(5), 672-676. doi.org/10.5713/ajas.2003.672
19. Gutierrez, B. H., Alvarez, E. G., Montano, M. F., Salinas-Chavira, J., Torrentera, N. G., & Zinn, R. A. (2018). Influence of flake density and tempering on the feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *Journal of Applied Animal Research*, *46*(1), 155-158. https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1278699
20. Higgs, R. J., Chase, L. E., Ross, D. A., & Van Amburgh, M. E. (2015). Updating the cornell net carbohydrate and protein system feed library and analyzing model sensitivity to feed inputs. *Journal of Dairy Science*, *98*(9), 6340-

6360. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9379
21. Hristov, A. N., Zaman, S., VanderPol, M., Szasz, P., Huber, K., & Greer, D. (2007). Effect of a saponin-based surfactant and aging time on ruminal degradability of flaked corn grain dry matter and starch. *Journal of animal science*, *85*(6), 1459-1466. https://doi.org/10.2527/jas.2006-467
22. Hu, G., Burton, C., & Yang, C. (2010). Efficient measurement of amylose content in cereal grains. *Journal of Cereal Science*, *51*(1), 35-40. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.08.007
23. Ingle, A. P., Chandel, A. K., & da Silva, S. S. (Eds.). (2020). *Lignocellulosic Biorefining Technologies*. Wiley-Blackwell. 10.1002/9781119568858
24. Kang, H., Lee, M., Jeon, S., Lee, S. M., Lee, J. H., & Seo, S. (2021). Effect of flaking on the digestibility of corn in ruminants. *Journal of Animal Science and Technology*, *63*(5), 1018. 10.5187/jast.2021.e91
25. Kim, W., Gamo, Y., Sani, Y. M., Wusiman, Y., Ogawa, S., Karita, S., & Goto, M. (2006). Effect of Tween 80 on hydrolytic activity and substrate accessibility of carbohydrolase I (CBH I) from *Trichoderma viride*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *19*(5), 684-689. doi.org/10.5713/ajas.2006.684
26. Kokić, B., Dokić, L., Pezo, L., Jovanović, R., Spasevski, N., Kojić, J., & Hadnađev, M. (2022). Physicochemical changes of heat-treated corn grain used in ruminant nutrition. *Animals*, *12*(17), 2234. https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90061-N
27. Kokić, B., Dokić, L., Pezo, L., Jovanović, R., Spasevski, N., Kojić, J., & Hadnađev, M. (2022). Physicochemical changes of heat-treated corn grain used in ruminant nutrition. *Animals*, *12*(17), 2234. https://doi.org/10.3390/ani12172234
28. Lee, S. S., & Ha, J. K. (2003). Influences of surfactant Tween 80 on the gas production, cellulose digestion and enzyme activities by mixed rumen microorganisms. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *16*(8), 1151-1157. doi:10.5713/ajas.2003.1151.
29. Li, Q., Shi, M., Shi, C., Liu, D., Piao, X., Li, D., & Lai, C. (2014). Effect of variety and drying method on the nutritive value of corn for growing pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *5*, 1-7. https://link.springer.com/article/10.1186/2049-1891-5-18#citeas
30. Liu, Y., Ran, T., Tan, Z., Tang, S., & Wang, P. (2013). Effects of surface tension and specific surface areas on *in vitro* fermentation of fiber. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, *44*, 901-910. 10.11843/j.issn.0366-6964.2013.06.011
31. Luciano, A., Tretola, M., Ottoboni, M., Baldi, A., Cattaneo, D., & Pinotti, L. (2020). Potentials and challenges of former food products (food leftover) as alternative feed ingredients. *Animals*, *10*(1), 125. https://doi.org/10.3390/ani10010125
32. McAllister, T. A., & Cheng, K. J. (1996). Microbial strategies in the ruminal digestion of cereal grains. *Animal Feed Science and Technology*, *62*(1), 29-36. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01003-6
33. Rahimi, A., Naserian, A. A., Valizadeh, R., Tahmasebi, A. M., Dehghani, H., Sung, K. I., & Nejad, J. G. (2020). Effect of different corn processing methods on starch gelatinization, granule structure alternation, rumen kinetic dynamics and starch digestion. *Animal Feed Science and Technology*, *268*, 114572. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114572
34. Reynolds, W. K., Hunt, C. W., Eckert, J. W., & Hall, M. H. (1992). Evaluation of the feeding value of barley as affected by variety and location using near infrared reflectance spectroscopy. In *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci*, *43*, 498-501., *43*, 498-501. 19941407132
35. Robertson, J. A., & Eastwood, M. A. (1981). An investigation of the experimental conditions which could affect water-holding capacity of dietary fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *32*(8), 819-825. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740320811
36. Rose, R., Rose, C. L., Omi, S. K., Forry, K. R., Durall, D. M., & Bigg, W. L. (1991). Starch determination by perchloric acid vs enzymes: Evaluating the accuracy and precision of six colorimetric methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *39*(1), 2-11. https://doi.org/10.1021/jf00001a001
37. Safaei, K., & Yang, W. (2017). Effects of grain processing with focus on grinding and steam-flaking on dairy cow performance. In *Herbivores*. IntechOpen. https://doi.org/10.1111/jpn.12565
38. Samuelson, K. L., Hubbert, M. E., Galyean, M. L., & Löest, C. A. (2016). Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: the 2015 New Mexico State and Texas Tech University survey. *Journal of Animal Science*, *94*(6), 2648-2663. https://doi.org/10.2527/jas.2016-0282
39. Schiff, A. P., Trotta, R. J., Holder, V., Kreikemeier, K. K., & Harmon, D. L. (2023). *In vitro* gas production kinetics are influenced by grain processing, flake density, starch retrogradation, and *Aspergillus oryzae* fermentation extract containing α-amylase activity. *Journal of Animal Science*, *101*, skad031. https://doi.org/10.1093/jas/skad031
40. Sindt, J. J., Drouillard, J. S., Titgemeyer, E. C., Montgomery, S. P., Loe, E. R., Depenbusch, B. E., & Walz, P. H. (2006). Influence of steam-flaked corn moisture level and density on the site and extent of digestibility and feeding value for finishing cattle. *Journal of Animal Science*, *84*(2), 424-432. https://doi.org/10.2527/2006.842424x
41. Song, X., Zuo, G., & Chen, F. (2018). Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial

properties of corn and wheat starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*, *107*, 1302-1309. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.114

42. Stefanova, G., Girova, T., Gochev, V., Stoyanova, M., Petkova, Z., Stoyanova, A., & Zheljazkov, V. D. (2020). Comparative study on the chemical composition of laurel (*Laurus nobilis* L.) leaves from Greece and Georgia and the antibacterial activity of their essential oil. *Heliyon*, *6*(12). 10.1016/j.heliyon.2020.e05491
43. Subaedah, S. T., Edy, E., & Mariana, K. (2021). Growth, yield, and sugar content of different varieties of sweet corn and harvest time. *International Journal of Agronomy*, *2021*, 1-7. https://doi.org/10.1155/2021/8882140
44. Tang, S. X., Dang, T., Tan, Z. L., Wu, D. Q., Yan, Q. X., & Kang, J. H. (2021). Effects of nonionic surfactant source and surface tension on *in vitro* fermentation characteristics of cereal straws. *Animal Feed Science and Technology*, *276*, 114912. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114912
45. Trotta, R. J., Kreikemeier, K. K., Royle, R. F., Milton, T., & Harmon, D. L. (2022). Corn processing, flake density, and starch retrogradation influence ruminal solubility of starch, fiber, protein, and minerals. *Journal of Animal Science*, *100*(6), skac149. . https://doi.org/10.1093/jas/skab298
46. Van Amburgh, M. E., Collao-Saenz, E. A., Higgs, R. J., Ross, D. A., Recktenwald, E. B., Raffrenato, E., Chase, LE., Overton, TR., Mills, JK & Foskolos, A. (2015). The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *Journal of Dairy Science*, *98*(9), 6361-6380. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9378
47. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, *74*(10), 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
48. Wulff, D., Chan, A., Liu, Q., Gu, F. X., & Aucoin, M. G. (2020). Characterizing internal cavity modulation of corn starch microcapsules. *Heliyon*, *6*(10). 10.1016/j.heliyon.2020.e04831
49. Xin, H., Khan, N. A., & Yu, P. (2021). Steam pressure induced changes in carbohydrate molecular structures, chemical profile and *in vitro* fermentation characteristics of seeds from new *Brassica carinata* lines. *Animal Feed Science and Technology*, *276*, 114903. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114903
50. Xin, H., Sun, F., Sun, K., Fu, Q., Li, Y., Zhang, Y., Rahman, S. U., & Khan, N. A. (2020). Batch-to-batch variation in carbohydrates molecular structures, nutritive value and biodegradation characteristics in corn coproducts. *Animal Feed Science and Technology*, *263*, 114458. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114458
51. Xu, N., Wang, D., & Liu, J. (2019). Variance of zein protein and starch granule morphology between corn and steam flaked products determined starch ruminal degradability through altering starch hydrolyzing bacteria attachment. *Animals*, *9*(9), 626. https://doi.org/10.3390/ani9090626
52. Zhong, R. Z., Li, J. G., Gao, Y. X., Tan, Z. L., & Ren, G. P. (2008). Effects of substitution of different levels of steam-flaked corn for finely ground corn on lactation and digestion in early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *91*(10), 3931-3937. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0957
53. Zinn, R. A., F. N. Owens, & R. A. Ware. (2002). Flaking corn: Processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* . *80*, 1145–1156. https://doi.org/10.2527/2002.8051145x.